中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）41(2)：187～200（1992）

旱田土壤中尿素肥料之轉化[1]

連 深[2] 陳琦玲[2]

摘要：本研究探討旱田狀態下尿素及裹硫尿素在土壤中之水解及轉化情形。

供試土壤爲臺北砂頁岩質沖積土（低鹽基淡色弱育土，Dystrochrepts），pH 6.1（原pH爲4.0，試驗前施用碳酸鈣將其提高爲6.1），及彰化粘板岩質沖積土（簡育浸水弱育土，Haplaquepts），pH 7.4。兩種土壤之質地，均屬坋質壤土。

實驗方法係將土壤各90公克稱於100cc一燒杯中，施以不同用量氮素的尿素或裹硫尿素（合N 0、30、60及150mg/100g土壤），充分混合後保持土壤容水量之約50%，放置於30°C下孵育，按期以氯化鉀溶液抽出，測定土壤中之銨、硝酸及亞硝酸等各形態之氮素含量。

結果顯示：1. 尿素之水解迅速；在30°C下，所施尿素在7天內即已全部水解爲銨態氮。2. 臺北土壤因銨的硝酸化較慢故有顯著的銨態氮聚積，亦因此，在多量尿素的施用下氨的揮散損失非常顯著。至於彰化土壤則因硝酸化速率高，水解後之銨迅速轉化爲亞銷酸及硝酸，致使銨態氮的聚積不明顯，故氨的揮散損失在此中鹼性土壤反而不顯著。3. 因鹼性土壤中，亞硝酸轉化爲硝酸的速率稍慢於銨轉化爲亞硝酸的速率，在多量的銨轉化爲硝酸的過程中有顯著的亞硝酸聚積跡象。4. 裹硫尿素因水解和緩，銨的轉化甚爲順暢，無論用量多寡，土壤中均無氨揮散或亞硝酸聚積之跡象。其氮素釋放的模式顯然優於尿素，有利於作物之吸收利用。5. 以本試驗結果所得數據輸入 CERES-Maize 中之氮轉化模式，所得結果顯示該模式對施肥量低、沒有氨揮散之土壤中氮素轉化的模擬適用性尙佳，但對於施肥量高、有氨揮散之土壤中氮素轉化模擬則不佳。此乃由於該模式中並未涵蓋氨揮散之機制故；其涵蓋氨揮散機制之需要性有待考量。

關鍵詞：尿素，旱田，氮素，轉化。

尿素和有關複合肥料係本省最常用之化學肥料。由於本省化學肥料單位面積用量冠於世界（Ku 1987），其有效使用無論從經濟及環境面均甚重要。

尿素施用於土壤後引發一連串轉化作用；包括其水解爲銨及銨之轉化爲亞硝酸及硝酸。此等轉化作用之速率係依肥料用量、溫度、水分及土壤性質之不同而異，並且相互影響。轉化過程中所產生之銨、亞硝酸及硝酸則依濃度之高低，或爲作物之養分，或爲害作物根部。亦因與土壤的連應而會經由揮散或脫氮損失。是故，尿素肥料施於土壤後之轉化相當複雜，有加闡明必要。

又裹硫尿素（sulfur coated urea，簡稱 SCU）在現有各種緩效性氮肥中乃較具發展潛力之一種。美國田納西河流域管理局（Tennessee Valley Authority，簡稱 TVA）國家肥料發展中心（National Fertilizer Development Center, 簡稱 NFDC），現已改名爲國家肥料與環境研究中心 National Fertilizer and Environment Research Center）所製 SCU 曾於七十年代提供本省多處試驗。臺肥公司亦曾試製，提供試驗（鄭，1975，連等，1977）。此等試驗結果均證實 SCU 可節省施肥次數並提高肥效，惟對於 SCU 施用土壤後之氮素轉化情形則研究甚少。是故，本研究乃以裹硫尿素與一般尿素一併比較。

---

1. 臺灣省農業試驗所研究報告等 1621 號。本研究承國科會經費（NSC 80—0409—B—055—04）補助，謹致謝意。
2. 本所農化系研究員及助理。

材料與方法

供試土壤：

1. 臺北砂頁岩質沖積土（低鹽基淡色弱育土 Dystrochrepts），有機質含量2.7%，CEC 8.8 m. e./100g土壤，pH 6.1；其原 pH 爲4.0，於試驗前施用碳酸鈣將其提高爲6.1，並以旱田狀態保持三週後方供本試驗之用。
2. 彰化粘板岩質沖積土（簡育浸水弱育土 Haplaquepts），有機質含量3.1%，CEC7.2 m. e./100g土壤，pH 7.4。

兩種土壤均採自蔬菜專業區，質地均屬坋質壤土。臺北土壤因屬酸性，而且因蔬菜之石灰效應很高，故石灰之施用爲其生產改進之必要措施之一。

試驗方法：

1. 肥料處理與土壤孵育：

將土壤各90公克稱於100ml一燒杯中，各施以不同用量氮素的尿素或裹硫尿素（合N 0、30、60及150mg/100g土壤）充分混合後，保持土壤飽和容水量之約50%，土壤厚度約爲4公分，放置於30°C下孵育。裹硫尿素（sulfur coated urea）係 TVA的NFDC（如前述）所供應，含氮34.8%。依據資料該裹硫尿素尚含蠟質2%，矽藻土2%，殺菌劑0.25%及硫18.1%。

2. 土壤中各種無機態氮之測定：

於施肥後7，14，28及53天取出各處理土壤二重複，各秤取相當於10公克乾土之土壤於250 ml三角瓶中，加入10% KCl 溶液100ml，振盪30分鐘後過濾。將濾液儲存於電冰箱內，並於數日內測定 NH_4^+-N，NO_2^--N及NO_3^--N含量。NH_4^+-N 係以擴散法測定（李，1966）。NH_4^+-N+NO_2^--N+NO_3^--N則先以過錳酸鉀少許使 NO_2^--N氧化爲 NO_3^--N後（江等，1969），才以擴散法（李，1968）測定。NO_2^--N 係以比色法測定（Bremner, 1965），並自 NH_4^+-N+NO_2^--N+NO_3^--N 含量扣除 NH_4^+-N 及 NO_2^--N 含量後得到 NO_3^--N 含量。

3. 不同施用量尿素／裹硫尿素在土壤中之轉化情形檢討：

將上述孵育試驗以不同量尿素／裹硫尿素施用後所得土壤中各種無機態氮含量製圖，檢討尿素／裹硫尿素在不同土壤中之轉化，包括尿素之水解，銨之亞硝酸化、亞硝酸之硝酸化、及氨之揮散等情形。

4. 氮轉化模式之測試

本研究亦以上述試驗結果測試 CERES-Maize 作物模式中之氮轉化模式（Jones & Kiniry, 1986, Lin, 1990）對臺灣土壤環境中氮素轉化模擬的適用性。有關模式之解析請參閱上述相關文獻，本文不再重述。目前用以測試之模式內容，包含尿素水解、新加入土壤中之有機殘質與土壤有機物之分解反應、有機態氮礦化與無機態氮之固定化作用及硝化作用與脫氮作用，有關土壤水分移動與 NO_3^--N 淋洗模式則尚未加入模式中。本次裹硫尿素在土壤中水解之模擬乃假設其水解速率爲尿素水解速率之2%。模式模擬時所需輸入之資料爲土壤特性資料（土壤 pH 值，有機質（%），土壤水分含量，土壤總體密度），溫度及氮肥施用量。

結果與討論

臺北土壤和彰化土壤各施用不同量尿素或裹尿素後各種無機態氮素含量之變化情形如表1—1及1—2。

表1—1. 臺北土壤施用不同量尿素肥料後各種無機態氮含量之變化

Table 1-1. Contents of various forms of inorganic nitrogen in Taipei soil at successive days after the application of varied rates of urea fertilizers.

Treatments Fertilizer-N mg/100g soil	Forms of N in soil	Contents (mg N/100g soil), days after application				
		0	7	14	28	43
Control (No N)	NH_4^+-N	0	3.9	1.9	0	0.7
	NO_2^--N	0	0	0	0	0
	NO_3^--N	21.6	22.0	25.0	31.5	30.3
	Total	21.6	25.9	26.9	31.5	31.0
Urea-N 30	NH_4^+-N		32.4	10.5	0	1.0
	NO_2^--N		1.7	0	0	0
	NO_3^--N		19.7	43.8	54.5	54.6
	Total		53.8	54.3	54.5	55.6
Urea-N 60	NH_4^+-N		47.7	29.4	8.2	1.7
	NO_2^--N		1.3	17.3	17.0	7.0
	NO_3^--N		19.6	23.4	32.0	40.5
	Total		68.6	70.1	57.2	49.2
Urea-N 150	NH_4^+-N		98.1	84.6	29.7	29.0
	NO_2^--N		0.2	7.3	40.6	33.6
	NO_3^--N		18.5	25.0	30.5	30.1
	Total		116.8	116.9	100.8	92.6
SCU-N 30	NH_4^+-N		7.2	1.3	0.6	1.3
	NO_2^--N		0.1	0	0.1	0
	NO_3^--N		22.6	27.6	38.9	34.3
	Total		29.9	27.6	39.6	35.3
SCU-N 60	NH_4^+-N		8.8	1.0	0	1.3
	NO_2^--N		0.1	0	0.1	0
	NO_3^--N		20.1	26.5	39.3	39.0
	Total		29.0	28.6	39.4	40.3
SCU-N 150	NH_4^+-N		19.6	6.9	4.7	3.8
	NO_2^--N		0.6	0	0.3	0.2
	NO_3^--N		25.0	37.2	67.5	82.9
	Total		45.2	43.9	72.5	86.9

表1—2. 彰化土壤施用不同量尿素肥料後各種無機態氮含量之變化

Table 1-2. Contents of various forms of inorganic nitrogen in Changhua soil at successive days after the application of varied rates of urea fertilizers.

Treatments Fertilizer-N mg/100g soil	Forms of N in soil	Contents (mg N/100g soil), days after application				
		0	7	14	28	43
Control (No N)	NH_4^+-N	0	0	0	0	1.2
	NO_2^--N	0	0	0	0	0
	NO_3^--N	17.4	18.7	20.2	21.6	20.8
	Total	17.4	18.7	20.2	21.6	22.0
Urea-N 30	NH_4^+-N		0	0	0	1.2
	NO_2^--N		20.2	0	0	0
	NO_3^--N		24.0	35.0	44.3	46.0
	Total		44.2	35.0	44.3	47.2
Urea-N 60	NH_4^+-N		0.6	0	0	1.2
	NO_2^--N		42.9	22.9	0	0
	NO_3^--N		18.4	45.2	70.6	74.0
	Total		61.9	68.1	70.6	75.2

Urea-N 150	NH_4^+-N	57.3	25.9	0	1.8
	NO_2^--N	36.1	73.2	16.8	0
	NO_3^--N	18.1	33.4	121.6	142.2
	Total	111.5	132.5	138.4	144.0
SCU-N 30	NH_4^+-N	0.6	0	0	2.2
	NO_2^--N	0	0	0	0
	NO_3^--N	16.7	23.2	28.8	39.0
	Total	17.3	23.2	28.8	41.1
SCU-N 60	NH_4^+-N	0	0	0	1.8
	NO_2^--N	0	0	0	0
	NO_3^--N	18.3	28.6	33.7	38.5
	Total	18.3	28.6	33.7	40.3
SCU-N 150	NH_4^+-N	0.6	0	0	2.4
	NO_2^--N	0.5	0	0	0
	NO_3^--N	21.8	32.5	59.0	74.0
	Total	22.9	32.5	59.0	76.6

將各時期各肥料處理土壤之各種無機氮含量扣除對照土壤各該當無機氮含量，並依時序繪之，可見不同用量尿素或裹硫尿素在土壤中之轉化情形，如圖1—1，1—2，2—1，及2—2。

1. 尿素之水解及轉化

由圖1—1及1—2可以推測30°C下尿素在臺北和彰化兩種土壤中之水解均甚迅速；所施尿素在7天內即已幾乎全部水解爲銨態（至少，在氮素用量30mg/100g土壤以下是如此）。Vlek等（1983）報告均勻施用於土壤中之尿素水解速率可以以零次反應敍述，而就若干土壤而言，如果反應時間以天計，甚至可認爲是瞬時反應，可見尿素快速水解之一斑。由莊等（1989）及 Lai et al.（1988）等報告所示臺灣土壤中尿素水解之速率亦可推測本試驗下所施尿素應可於7天內完成水解。

臺北土壤因銨的硝酸化較慢，故有顯著的銨聚積（圖1—1）。此累積的銨在中鹼性 pH 下遂解離爲氨，以致揮散損失。（臺北土壤原屬酸性 pH 4.0，但於本試驗三週前已以碳酸鈣中和至6.1。以此 pH 值加上尿素水解所產生的碳酸銨，預期 pH 值會更爲提高）。銨的聚積亦有反過來抑制硝酸化速率的跡象，亦因此，在多量尿素的施用下氨的揮散損失非常顯著。至於彰化土壤（圖1—2）則因銨的硝酸化速率快，尿素水解後產生之銨迅速轉爲亞硝酸及硝酸，以致銨的聚積不明顯。故彰化土壤 pH 值雖比臺北土壤高出許多，氨的揮散損失卻不顯著，只在多量的尿素的施用下才見有銨的聚積及氨揮散的跡象。翁等（1982）亦曾指出 pH 8.2之土壤施用尿素後之氨揮散損失反較 pH 6.4土壤之同處理氨揮散損失顯著低之實例。可見影響尿素氨揮散之因子除了 pH值外，土壤中銨的硝酸化速率應視爲更重要。

一般而言，土壤中銨的硝酸化速率在酸性（鹽基飽和度低）土壤會受顯著的抑制（橋元1982）。惟上述試驗中，臺北土壤之酸性已經碳酸鈣中和，其鹽基飽和度已提高，但其銨的硝酸化速率卻仍低，値得注意。

本試驗中無論臺北或彰化土壤均於尿素的轉化過程可見顯著的亞硝酸聚積；這種聚積於尿素施用量高時尤爲顯著，而兩種土壤中則以 pH 值較高之彰化土壤最爲明顯。

旱田狀態下土壤中亞硝酸之聚積係由於銨的不完全氧化所致。土壤中銨的硝酸化分爲銨氧化爲亞硝酸及亞硝酸氧化爲硝酸兩個步驟，各由亞硝酸菌（nitrosomonas）及硝酸菌（nitrobacter）擔任。土壤 pH 值之提高固可促進兩種菌的發育，但因亞硝酸菌的發育在鹼性下特佳（據報告，二者之最適 pH 值各爲8.6及7.7），故在石灰質土壤施用多量尿素，並因高溫下尿素之水解迅速，所產生之銨使土壤 pH 值提高的情形下，亞硝酸菌之活性會有高於硝酸菌活性之現象，土壤中游離的氨則會阻礙硝酸菌氧化亞硝酸的能力（坂井1956）。故無論是亞硝酸菌活性受到促進，或硝酸菌活性受到阻礙，均將導致亞硝酸之聚積。

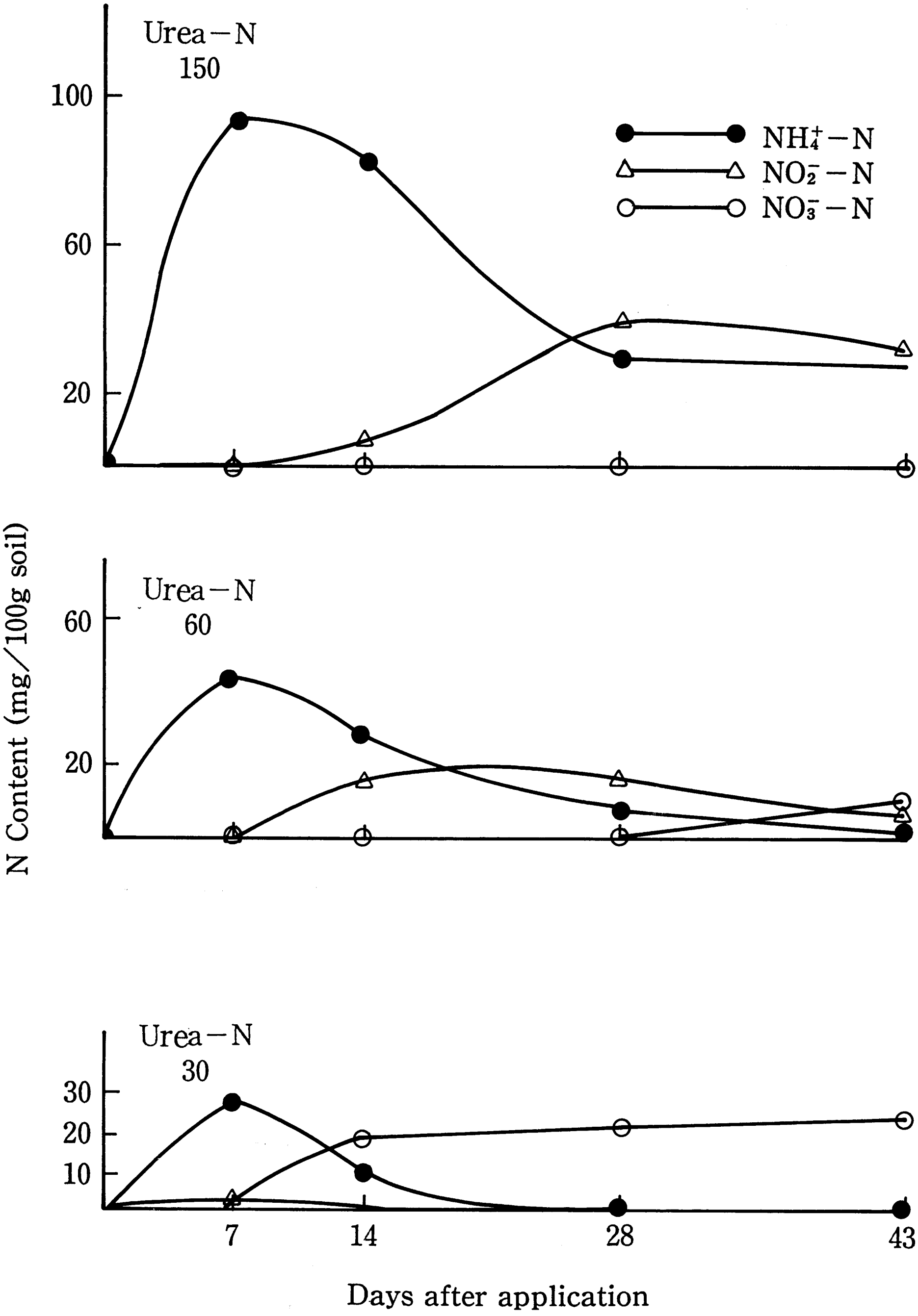

圖1—1 不同用量尿素在臺北土壤中轉化情形

Fig. 1-1. Changes with time of various forms of nitrogen in Taipei soil transformed from urea applied at varied rates.

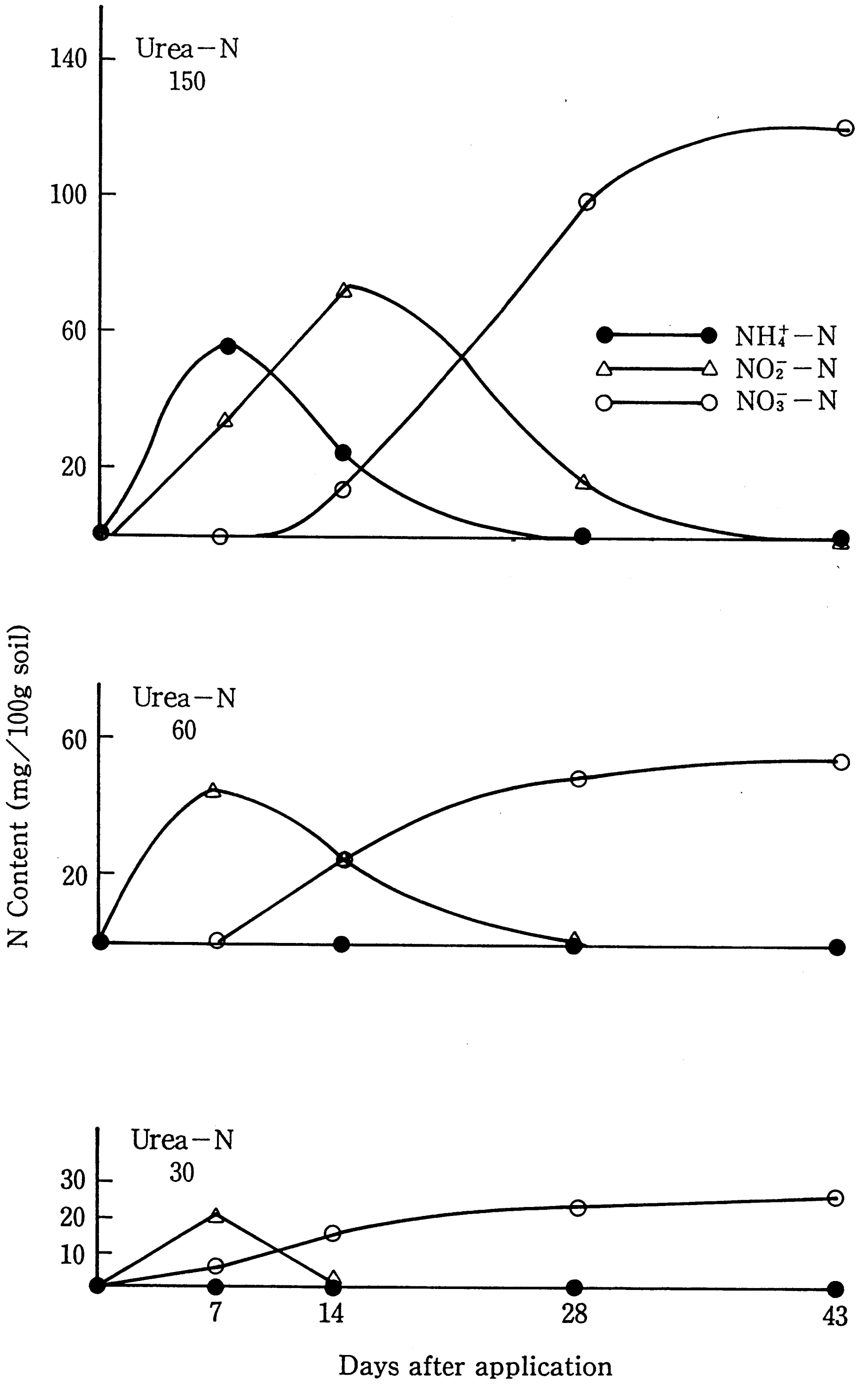

圖1－2 不同用量尿素在彰化土壤中轉化情形

Fig. 1-2. Changes with time of various forms of nitrogen in Changhua soil transformed from urea applied at varied rates.

本試驗中彰化土壤係屬粘板岩沖積土，pH 7.4，石灰含量很豐而臺北土壤雖屬酸性砂頁岩質沖積土，但已於試驗前三週施用石灰使 pH 值提高至6.1。又本試驗土壤中施用尿素後係在30°C下孵育，故尿素之水解迅速。故在尿素用量增加的情形下其 pH 值之提高或土壤中游離氨之產生均可期待，因此導致亞硝酸菌和硝酸菌活性間差異，產生亞硝酸之一時聚積，可以了解。

據報告，過去日本水稻育苗時發生的一種稱爲「Murenae」的生理障礙，即是土壤中施用石灰時未充分混合反應，導致局部 pH 值高，再施用多量尿素時產生之亞硝酸聚積所致，故施用石灰時應充分混合，而尿素用量則宜加節制。

2. 裹硫尿素的氮素釋放與轉化

與上述尿素的水解、轉化情形相異，裹硫尿素的氮素釋放與轉化則顯然和緩甚多（圖2—1及2—2）。

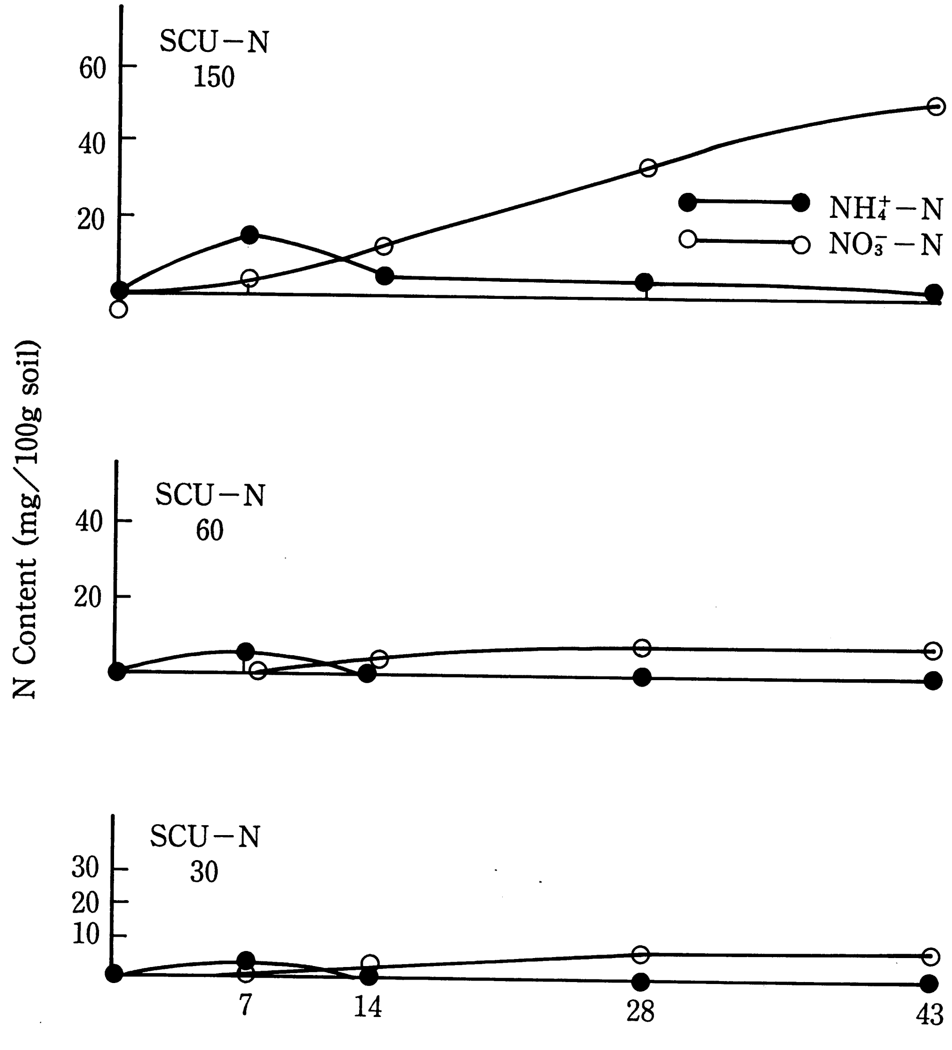

圖2—1 不同用量裹硫尿素在臺北土壤中之釋放及轉化情形

Fig. 2-1. Changes with time of various forms of nitrogen in Taipei soil released and transformed from sulfur coated urea applied at varied rates.

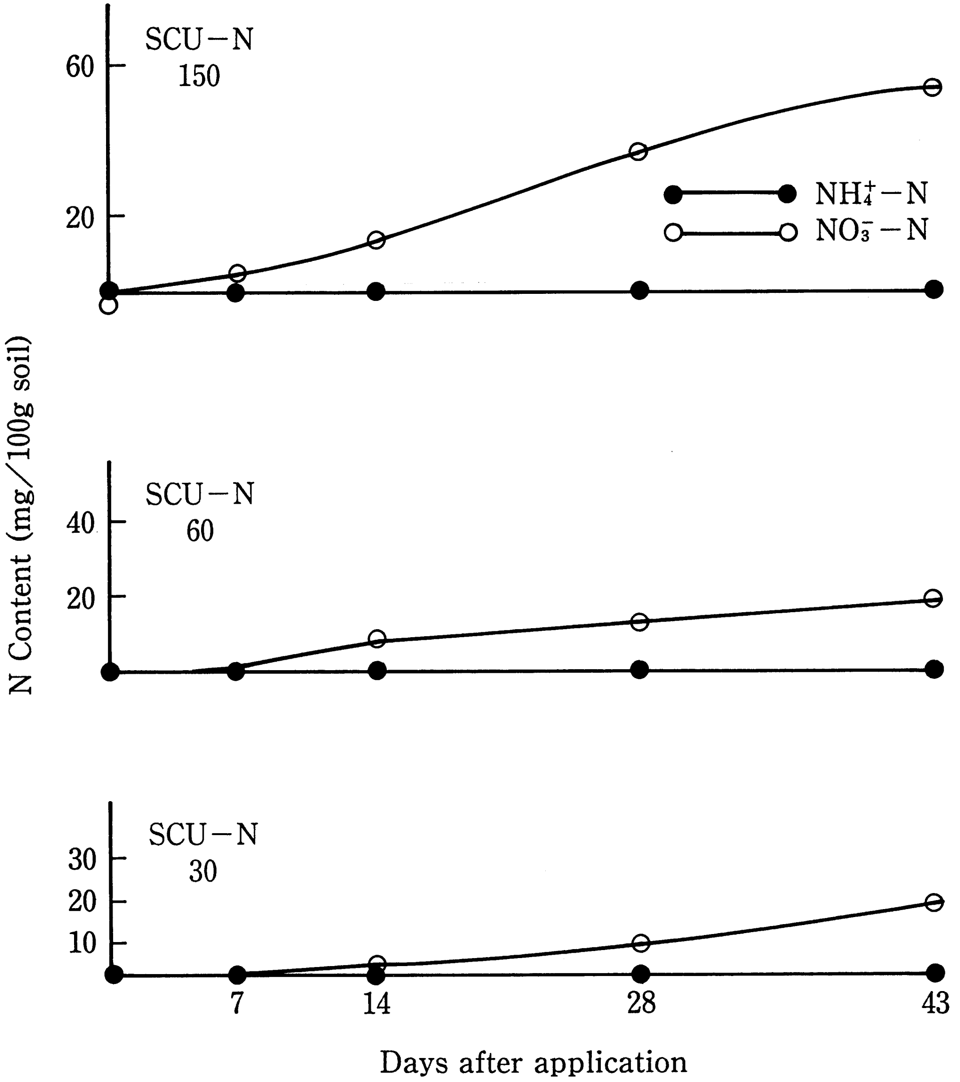

圖2—2 不同用量裹硫尿素在彰化土壤中之釋放及轉化情形

Fig. 2-2. Changes with time of various forms of nitrogen in Changhua soil released and transformed from sulfur coated urea applied at varied rates.

無論彰化或臺北土壤，均無亞硝酸的積聚，而銨的聚積亦較硝酸的聚積低甚多；可見其銨的硝酸化甚爲順利，而無氨揮散機會。其主要原因應與裹硫尿素中之尿素水解和緩有關。由於硝酸化速率和緩而持續，預期其釋放的氮素可有效爲作物吸收利用，而土壤中硝酸之淋失機會則預期很少。可見裹硫尿素的氮素釋放模式甚優於尿素，有利於作物吸收利用。

由以上試驗結果可見，高溫下，尿素之水解迅速；此時如銨之硝酸化速率不夠迅速則有顯著的銨聚積，而 pH 如夠高，則有氨之揮散。石灰性土壤由於銨的硝酸化速率一般都高，故其施用尿素後之氨揮散損失反較酸性土壤經施石灰中和酸性後施用尿素者爲低。此種現象與一般水田中鹼性土壤較酸性土壤易發生氨揮散之情形不同。

又硝酸化過程中亞硝酸菌與硝酸菌乃有前驅者與後繼者之別，後者的活性常受前者所左右，因

此易產生銨氧化爲亞硝酸與亞硝酸氧化爲硝酸之速率間差異。此種差異在銨之濃度高時尤爲顯著，故在石灰質土壤施用多量尿素時有顯著的亞硝酸聚積，宜加注意。本試驗所設尿素用量處理甚高，超過一般用量，但鑑於肥料之施用方式以條施爲多，局部土壤中所施肥料濃度很高亦是常見。故本試驗之處理有其實際意義，但上述試驗結果尚需田間實際印證。

裹硫尿素因尿素之溶出和緩，故無論用量多寡均無氨揮散或亞硝酸之聚積等現象。

3. 氮轉化模式之測試結果

由尿素與裹硫尿素孵育試驗之模擬結果可以看出 CERES-Maize 中之氮轉化模式對於較低尿素施用量而沒有氨揮散之土壤的氮素轉化模擬尚佳，但對於高尿素施用量氨揮散較強的土壤則表現差（圖3—1，3—2）。此爲原來氮模式並未考慮如本試驗之高氮肥施用量，如每公頃土壤以100萬公斤計，高達1,500kg/ha（即150mgN/100g土）之故。另外，由於一般土壤中NO_2^--N之量極低，因此模式設定硝化作用僅爲 $NH_4^+ \rightarrow NO_3^-$ 之單一反應步驟，而由本次高氮肥施用量之孵育結果顯示

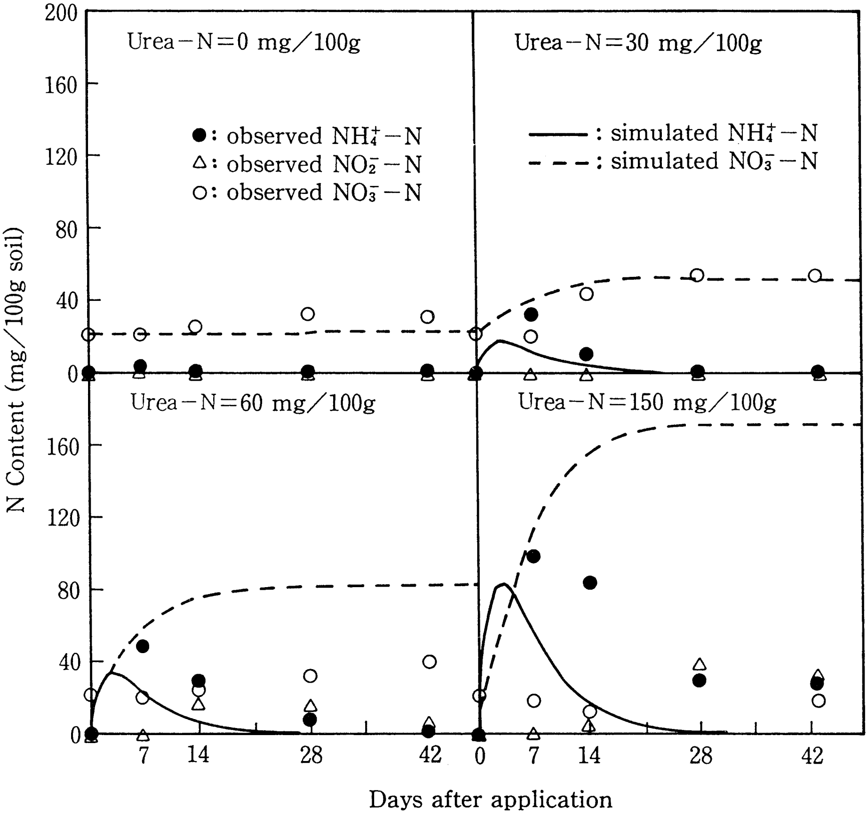

圖3—1. 不同用量尿素在臺北土壤中之轉化情形與模擬結果

Fig. 3-1. Comparison of the simulated and observed nitrogen transformation of urea applied at varied rates in Taipei soil.

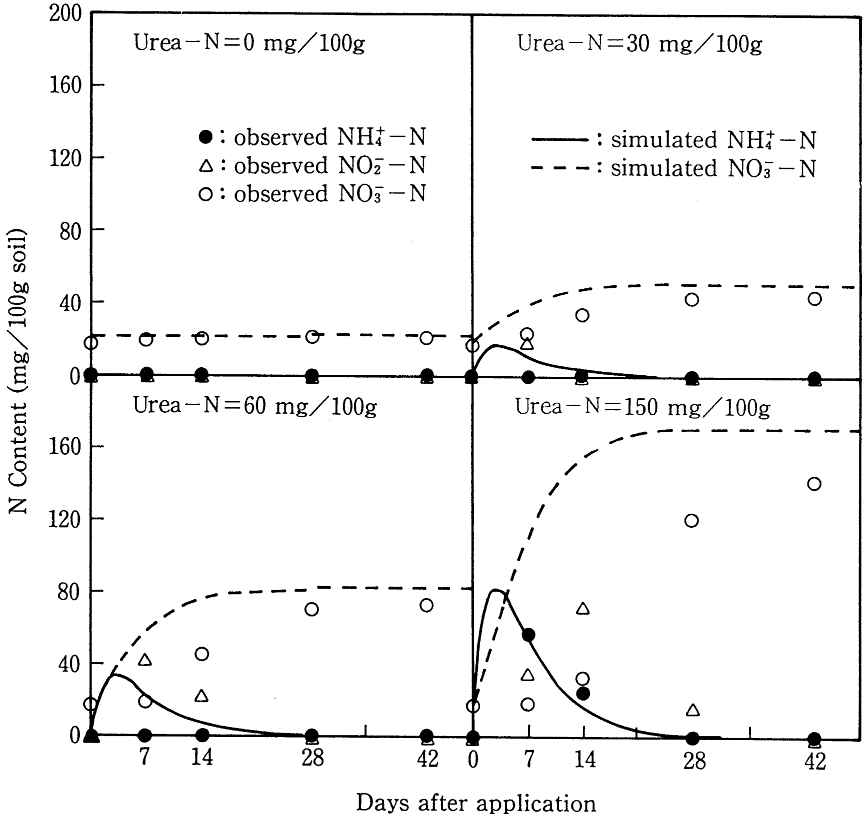

圖3—2. 不同用量尿素在彰化土壤中之轉化情形與模擬結果

Fig. 3-2. Comparison of the simulated and observed nitrogen transformation of urea applied at varied rates in Changhua soil.

，無論在臺北或彰化土壤均有NO_2^--N累積之現象，此爲模式未能模擬者，亦導致NH_4^+-N與NO_3^--N模擬値之誤差。而在裹硫尿素之模擬，則因其水解緩和，銨的轉化順暢，雖然施用量高亦無氨揮散與 NO_2^--N 之聚積，因此在目前孵育試驗期間內模擬結果甚佳（圖4—1，4—2）。另外，由模擬結果估算出裹硫尿素之水解速率約爲尿素水解之2%。由本次模擬結果推論 CERES-Maize 中之土壤氮素轉化模式應用於臺灣土壤低於300kg/ha（即30mgN/100g土）之尿素一氮施用量或任何用量之緩效性氮肥之氮素轉化模擬應有其適用性，但有待更多的試驗數據作進一步的驗證。因尿素肥料之表施或條施均可導致局部土壤之尿素用量增高，而中鹼性土壤中如有銨之累積，氨之揮散勢所難免，故在氮模式中涵蓋氨揮散之機制實有需要，有待考量。至於不同特性土壤中，更精確的NH_4^+-N與NO_3^--N動態變化模擬，亦待整合更多的試驗結果以進行模式氮轉化機制之修正。惟要求模擬準確而導致模式之複雜性，則應視應用需求的目的而有斟酌。

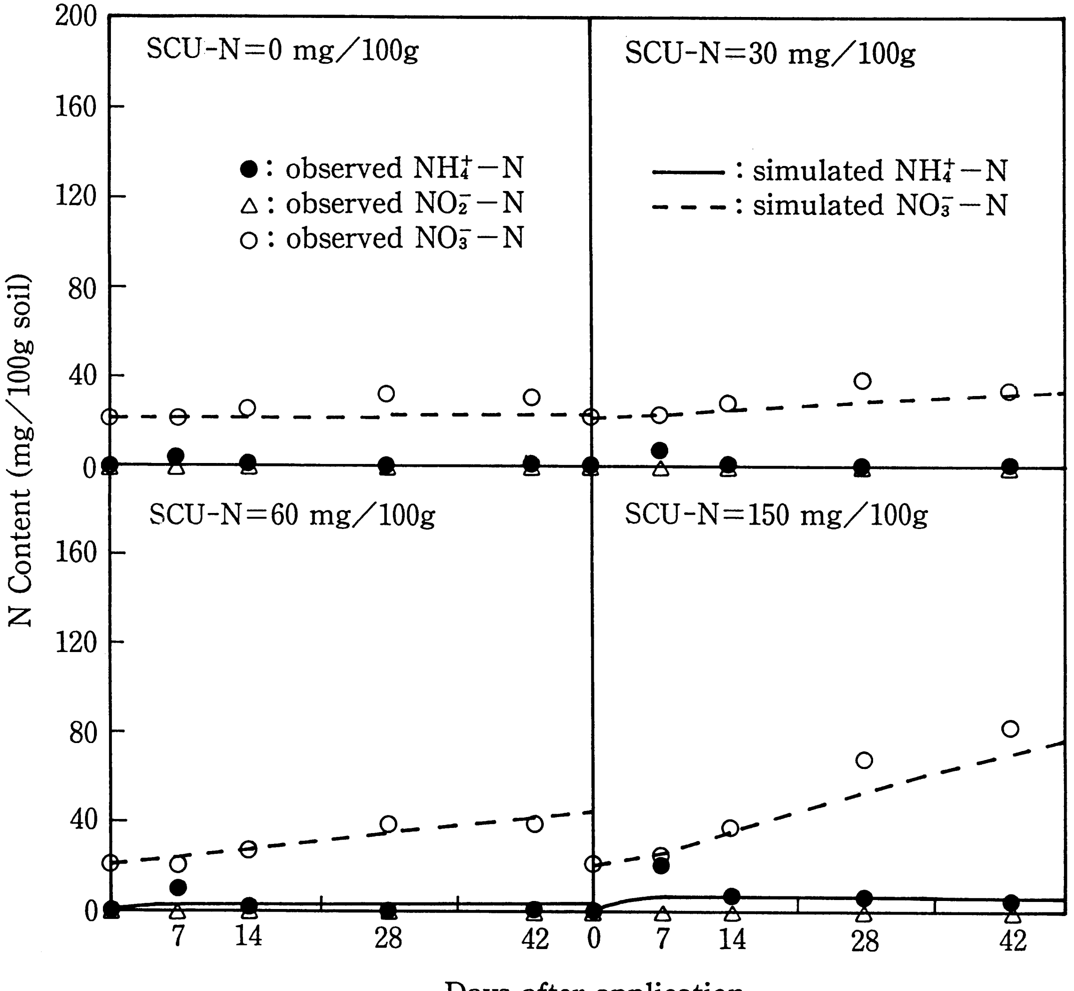

圖4—1. 不同用量裹硫尿素在臺北土壤中之轉化情形與模擬結果

Fig. 4-1. Comparison of the simulated and observed nitrogen transformation of sulfur coated urea applied at varied rates in Taipei soil.

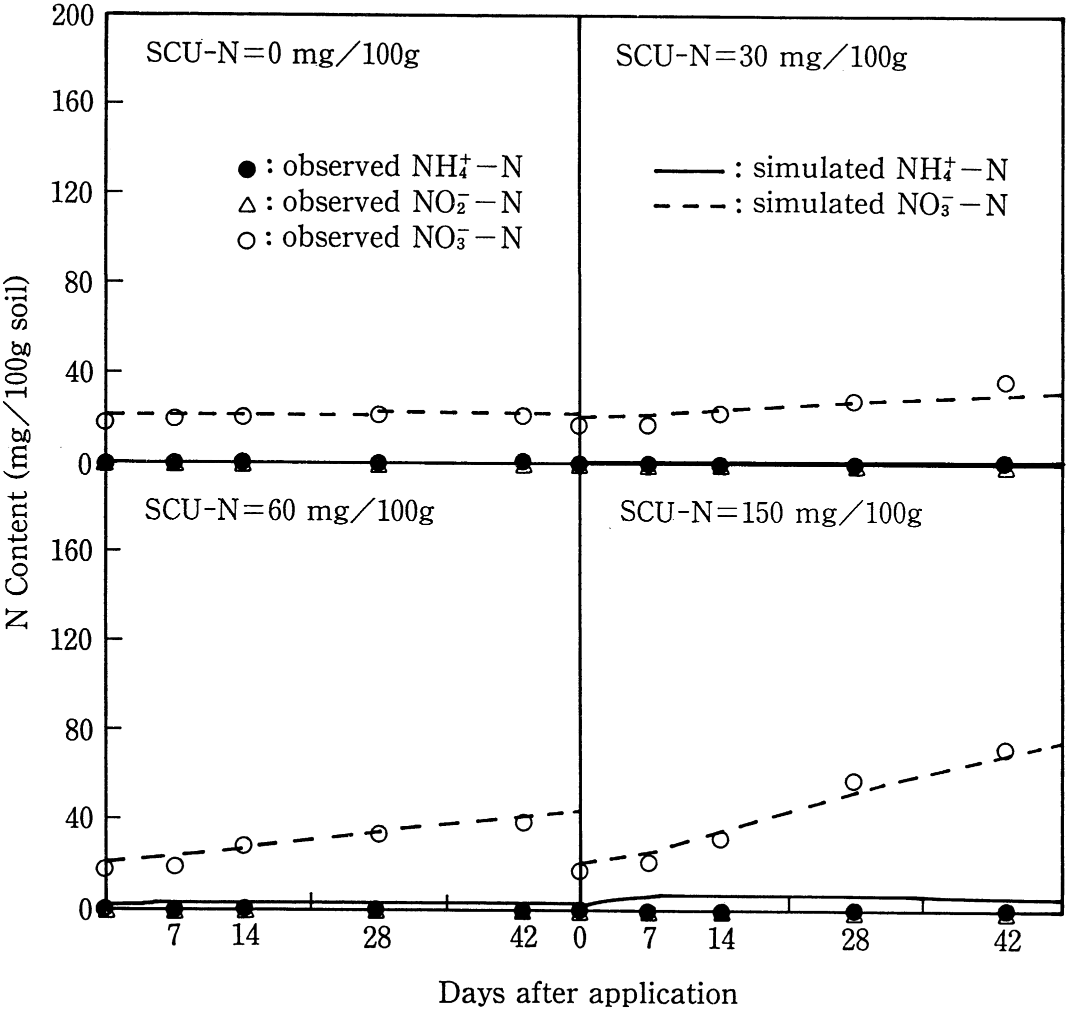

圖4—2. 不同用量裹硫尿素在彰化土壤中之轉化情形與模擬結果

Fig. 4-2. Comparison of the simulated and observed nitrogen transformation of sulfur coated urea applied at varied rates in Changhua soil.

參考文獻

江景村、楊基城 1969。土壤中各種形態氮素之微量擴散分析法。中國農業化學會誌 7：1，2（1—4）。

坂井弘 1956。土壤の亞硝酸集積條件に關する研究。北海道農業試驗場彙報 71：21—31。

李蘭帝 1966。大量植物樣本氮磷鉀的迅速測定法、農業研究 15：21（1—5）

李蘭帝 1968。擴散法在硝酸氮定量上的應用。農業研究 17：2（1—2）

連深、鄭榮賢、蘇春濤 1977。省產裹硫尿素及硫酸銨簡化施肥法在不同水田之肥效。臺灣農業季刊 13：2（135—148）。

莊作權、趙震慶、黃芸青 1989。土壤環境因子對尿素轉化作用之影響。農林學報 38（1）：1—14。

翁銅河、詹元祜、王傳釗 1982。尿素在蔗田土壤中揮發氨損失之研究。臺灣糖業研究所 研究彙報 99：35—46。

鄭榮賢 1975。緩效性肥料在本省農業上之利用價值。土壤肥料試驗報告：26—34。臺灣省政府農林廳。

橋本武 1982。酸性土壤と作物生育。第二章之2。施肥による酸性化 p. 21。養賢堂，東京。

Bremner, J. M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. Pages 1219—1223 in C. A. Black et al., ed. Methods of Soil Analysis, Part 2. The American Society of Agronomy.

Jones, C. A., and J. R. Kiniry (eds.). 1986. CERES-Maize: a simulation model of maize growth and development. Texas A & M University Press, College Station, Texas, USA.

Ku, T. Y. 1987. The supply and management of fertilizers and pesticides in the Republic of China. Council of Agriculture, Executive Yuan, R. O. C.

Lai, C. M. and K. H. Houng. 1988. A study on the measurement of urease, phosphatase and dehydrogenase activities in soils. Bull. Inst. Chem. Acad. Sin. (Taiwan, R. O. C.) 35：79—96.

Lin, C. F. 1990. A report on a visit to the R. S. A to develop a model for nitrogen transformation in soils. Department of Soil Science. Natinal Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, R. O. C.

Vlek, P. L. G. and M. F. Carter. 1983. The effect of soil environment and fertilizer modifications on the rate of urea hydrolysis. Soil Science 136(2)：56—63.

Studies on Urea Transformation in Soils Under Upland Condition.[1]

S. Lian[2] and C. L. Chen[2]

Abstract

The Patterns of urea transformation in soils under upland condition were studied in laboratory.

The soils studied were: (1) an acidic Taipei sandstone and shale alluvial soil (Dystrochrepts) with pH 4.0 (the pH, however, was adjusted to 6.1 by $CaCO_3$ before the experiment), and (2) a calcareous Changhua slate alluvial soil (Haplaquepts) with pH 7.4. Ninety grams each of soils placed in 100 CC-beaker was applied, respectively with different rates of nitrogen (corresponding to 0, 30, 60 and 150mg/100g soil) in the forms of urea and sulfur coated urea, mixed thoroughly and incubated under 30°C. The soil moisture was kept at ca. 50% of the saturation capacities of soils. The contents of ammonium, nitrite and nitrate in the soils were measured at 7, 14, 28 and 43 days after application.

1. The hydrolysis of urea in the soils under 30°C was quite fast that all of the urea-N was transformed into ammonium within 7 days after application.
2. The rate of nitrification in Taipei soil was so slow that there was significant accumulation of ammonium at 7 days after application and loss of ammonia was most signigicant under high rate of urea application. On the other hand, the rate of nitrfication in Changhua soil was so fast that there was almost no ammonium accumulated in the soil, except under very high rate of application.
3. As the rate of transformation of nitrite to nitrate was less than that of ammonium to nitrite under higher pH, the accumulation of nitrite was significant in Changhua soil during the period 7—14 days after urea application. The accumulation even prolonged under high rate of application.
4. The transformation of ammonium to nitrate was very smooth and there were neither indication of ammonia evaporation nor trace of nitrite accumulation in the soil applied with sulfur coated urea even under high rate of application. The slow dissolution of urea from the fertilizer was attributed to this phenomenon. The patterns of nitrogen release in the soil with sulfur coated urea were apparently superior than that with prilled urea for the uptake by crops.
5. The simulation of the data obtained under low rates of urea application in CERES-Maize N model was rather appropriate, but that of the data obtained under high rates was not. The volatilization of ammonia from soil was not considered in the model. Due to the fact that ammonia volatilization is significant under high rate of urea application, the modification of the model to include such mechanism seems necessary.

Key words : upland, soils, nitrogen, transformations.

---

1. Contribution No. 1621 from Taiwan AgriculturalResearch Institute. This study was supported in part by a grant (NSC 80-0409-B-055-04) from National Science Council, Executive Yuan, R.O.C.
2. Soil Scientist and assistant, Department of Agricultural Chemistry, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan 41301, R.O.C.